



Н. В. Мартинова,
кандидат біологічних наук,
завідувач лабораторії ботанічного саду,
Дніпровський національний університет
імені Олесь Гончара, Україна
E-mail: nadiamart.bg@gmail.com



Ю. В. Лихолат,
доктор біологічних наук,
професор, завідувач кафедри фізіології
та інтродукції рослин,
Дніпровський національний університет
імені Олесь Гончара, Україна



А. М. Кабар,
кандидат біологічних наук,
директор ботанічного саду,
Дніпровський національний університет
імені Олесь Гончара, Україна



І. В. Рула,
старший викладач,
Дніпровський аграрний-економічний університет



І. П. Григорюк
доктор біологічних наук,
член-кореспондент НАН України, професор,
Національний університет біоресурсів
та природокористування України

АДАПТИВНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ЗЛАКОВИХ ВИДІВ РОСЛИН *SORGHASTRUM NUTANS*, *PENNISETUM SETACEUM* ТА *SPODIOPOGON SIBIRICUS* В УМОВАХ ІНТРОДУКЦІЇ СТЕПУ УКРАЇНИ

Визначено адаптивний потенціал високорослих видів злаків (*Sorghastrum nutans*, *Pennisetum setaceum*, *Spodiopogon sibiricus*) в умовах інтродукції у степову зону України. Починаючи з другого року життя досліджені рослини активно накопичували підземну і надземну біомасу, зокрема наприкінці третього року. Найвисокорослішим виявився *Spodiopogon sibiricus*. Найкращі показники горизонтального росту показав *Pennisetum setaceum*, *Pennisetum setaceum* і *Sorghastrum nutans* була відмічена висока врожайність сирової вегетативної біомаси (13,5-15,0т/га), що відкриває перспективи їхнього використання як кормової культури.

Термічна деструкція сухої біомаси досліджених рослин відбувається у три етапи з однією точкою екстремуму на кожній стадії. Швидкість розкладу складових компонентів вуглеводного комплексу значно більша у *Sorghastrum nutans*. Значна кількість полісахариду геміцелюлози в біомасі обумовлює деякі втрати у калорійності біопалива. Невеликі значення показників енергії активації підтверджують відносно слабкі молекулярні зв'язки та невисоку термічну стабільність біомаси рослин. Тому сировину з названих злаків можна рекомендувати для використання як добавку до різних видів композитного твердого палива.

Ключові слова: інтродукція, *Sorghastrum nutans*, *Pennisetum setaceum*, *Spodiopogon sibiricus*, морфологія, продуктивність, сировина, термоліз.

N. V. Martynova,
PhD of Biology Sciences, Head of the Laboratory of the Botanical Garden, Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine
E-mail: nadiamart.bg@gmail.com

Y. V. Lykholat,
Doctor of Biology Sciences, Professor, Head of the Department of Physiology and Introduction of Plants, Oles Honchar Dnipro

National University, Ukraine

A. M. Kabar,

PhD of Biology Sciences, Head of the Botanical Garden of the Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine

I. V. Rula,

Senior Lecturer of the Dnipro Agrarian and Economic University

I. P. Grygoryuk,

Doctor of Biology Sciences, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Professor of the National University of Biology and Natural Resources of Ukraine

ADAPTIVE POTENTIAL OF *SORGHASTRUM NUTANS*, *PENNISETUM SETACEUM* AND *SPODIOPOGON SIBIRICUS* UNDER INTRODUCTION CONDITIONS OF THE STEPPE OF UKRAINE

The adaptive potential of three tall grasses (Sorghastrum nutans, Pennisetum setaceum, Spodiopogon sibiricus) under the Ukrainian steppe zone conditions has been detected. Starting from the second year of life, the studied plants actively increased the underground and aboveground biomass, reaching their maximum by the end of the third year. Spodiopogon sibiricus was the tallest. Pennisetum setaceum showed the best parameters of horizontal growth. Two species (Pennisetum setaceum and Sorghastrum nutans) gave a high yield of fresh vegetative biomass (13.5-15.0 t/ha), which opens up prospects for their use as a forage crop.

Thermal destruction of dry biomass of the studied plants passes in three stages and has one extremum point at each phase. The decomposition rate of the main components of the carbohydrate complex was significantly higher in Sorghastrum nutans than in other species. A large amount of hemicellulose in biomass causes some loss in caloric content of biofuel. Small values of activation energy indicate relatively weak molecular bonds and low thermal stability of the biomass. Therefore, the raw materials from the studied grasses can be recommended for use as an additive to various types of composite solid fuel.

Key words: introduction, *Sorghastrum nutans*, *Pennisetum setaceum*, *Spodiopogon sibiricus*, morphology, productivity, raw materials, thermolysis.

Постановка проблеми. Постійний вплив на рослини забруднення довкілля [1, 2] спонукає до пошуку нових цінних і стійких господарчих видів, які є невід'ємною складовою частиною сучасного існування людства. Безліч рослин використовують як харчові, технічні, лікарські, енергетичні або декоративні культури [3, 4]. Але потенціал багатьох представників дикої флори ще й досі не розкрито. Крім того, багато видів рослин поліфункціональні, тобто мають цілу низку корисних властивостей, зокрема представники родів *Sorghastrum Nash*, *Pennisetum Rich.* та *Spodiopogon Trin.* Розвиток стійких спеціалізованих систем біоенергетичного землеробства, таких як вирощування багаторічних високорослих злаків, сприяє енергетичній незалежності, прискорює розвиток сільськогосподарських районів, оптимізує стан їхніх екосистем; а також зумовлює припинення ерозійних процесів, секвестрацію вуглецю, кругообіг води та поживних речовин [5 - 7].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сорговник пониклий (*Sorghastrum nutans* (L.) Nash) є одним з домінуючих злаків високотравних прерій центральних і східних районів Північної Америки, який застосовують як цінну кормову культуру [9, 18]. Крім того, він має високий генетичний потенціал і можна широко використовувати для відновлення техногенно-порушених земель та для контролю ерозії ґрунтів [10, 11].

Пеннісетум щетинистий (*Pennisetum setaceum* (Forssk.) Chiov.) природно зростає у Західній Азії і Північній Африці, який вивчали й застосовували як декоративну та кормову рослину з метою інтродукування у багатьох регіонах світу. Але в умовах теплої аридного клімату він виявив суттєву схильність до натуралізації, який вважають інвазійним видом у Південній Африці, Австралії та південних штатах США [12, 13]. *P. setaceum* має високу інтенсивність фотосинтезу і проявляє фенотипічну пластичність у показниках росту, що дозволяє йому ефективно конкурувати з іншими рослинами й колонізувати широкий ареал зростання. Завдяки цим властивостям наявний вид рослин надзвичайно перспективний для швидкої стабілізації та захисту ґрунтів від ерозії. А висока здатність до поглинання важких металів робить його придатним для фітостабілізації під час рекультивациі порушених земель [14].

Сподіопогон сибірський (*Spodiopogon sibiricus* Trin.) недостатньо вивчений вид, третичний релікт, який природно розповсюджений від Сибіру до країн Східної Азії (Монголії, Китаю, Японії). Дослідження цієї рослини проводили в основному лише у природних екосистемах, хоча є деякі фрагментарні дані щодо її кормової цінності даної культури [15, 17, 18].

Наявні три види злаків мають C₄ шлях фотосинтезу, що надає їм суттєву для зростання перевагу в умовах недостатнього водозабезпечення. Таким чином, існують передумови для успішної їхньої інтродукції у степову зону України та подальшого вивчення корисних властивостей.

Мета статті - визначення адаптивного потенціалу інтродукованих видів злаків до умов степової зони України за морфологічними ознаками та фенологічними спостереженнями. Дослідження динаміки нагромадження біомаси протягом трьох років життєдіяльності та теплових показників надземної біомаси рослин.

Матеріали й методи дослідження. Рослини отримані нами у вигляді насіння, зокрема з ботанічних садів м. Балчик, Болгарія (*Sorghastrum nutans*), м. Мейс, Бельгія (*Pennisetum setaceum*) університету м. Люблін, Польща (*Spodiopogon sibiricus*). Дослідження проводили на експериментальних ділянках Ботанічного саду Дніпровського національного університету ім. О. Гончара. Протягом 2016-2018 р.р. здійснювали фенологічні спостереження та морфологічні вимірювання за стандартними методиками. Термічний аналіз надземної біомаси рослин нами проведено на дериватографі Q - 1500D системи «F. Paulik - J. Paulik - L. Erdey» з реєстрацією аналітичного сигналу втрачання біомаси та теплових ефектів на папері самописця. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою пакету комп'ютерних програм, що постачаються разом з даним обладнанням. Зразки біомаси рослин аналізували у динамічному режимі зі швидкістю нагрівання 10°C/хв. в повітряній атмосфері. Маса проб становила 100 мг. Як еталонну речовину використовували оксид алюмінію. Енергію активації розраховували за методом подвійного логарифмування Бройдо [18].

Основні результати дослідження. Насіння злаків висівали на початку квітня 2016 р. у відкритий ґрунт. Перші сходи з'явилися через 12-16 діб. Схожість була високою для усіх трьох видів, яка складала від 72 до 86 %. У перший рік життя дослідні рослини накопичили незначну вегетативну масу, досягли висоти 48-55 см і увійшли у стадію спокою у другій декаді жовтня.

Весняне відростання пагонів на другий і третій роки життя розпочиналося в останню декаду квітня. Найраніше відростання спостерігалось у рослин *Sorghastrum nutans* (20-23 квітня), а найпізніше у *Pennisetum setaceum* (27-29 квітня). З другого року досліджені рослини вступали у генеративну фазу. Квітування відбувалося з другої декади липня до першої декади серпня. Насіння дозрівало в таких умовах у вересні місяці.

Починаючи з другого року життя рослини активно накопичували підземну і надземну біомасу й досягнув свого максимуму наприкінці третього року (рис.1).

Найвищу висоту було виміряно нами у рослин *Spodiopogon sibiricus*. Якщо характер вертикального росту досліджених видів був схожим, то динаміка наростання біомаси бокових пагонів дещо відрізнялася (рис.2).

Протягом другого року життя діяльність найінтенсивніше утворення ортотропних пагонів відбулось в рослинах *Sorghastrum nutans* та *Pennisetum setaceum* (у 3-3,5 рази порівняно з першим роком). В *Spodiopogon sibiricus* цей процес був повільнішим, кількість пагонів збільшувалася у 2 рази. На третій рік життя динаміка горизонтального росту в *Spodiopogon sibiricus* залишалася незмінною, а в *Sorghastrum nutans* та *Pennisetum setaceum* значно зменшувалася. У даних умовах окремі рослини майже зрослися в єдиний масив, тому активне наростання бокових пагонів просліджувалось тільки на крайніх екземплярах.

Діаметр пагонів є величиною, яка суттєвіше залежить від віку рослини, ніж від чинників навколишнього середовища. В однорічних рослин він коливався від 2,3 (*Pennisetum setaceum*) до 2,9 мм (*Sorghastrum nutans*). На третій рік життя діаметр пагонів складав 3,31 мм

(*Pennisetum setaceum*), 5,25 (*Spodiopogon sibiricus*) та 5,97 мм (*Sorghastrum nutans*).

Морфологічні показники визначають врожайність біомаси. Наприкінці третього року нами виявлено найінтенсивніший приріст надземної біомаси в рослин *Pennisetum setaceum*. Середня маса однієї рослини складала 1001,1 г, а найменший приріст відзначено у рослин *Spodiopogon sibiricus* (568,7 г). У перерахунку на площу врожайність вегетативної біомаси становила від 8,5 до 15,0 т/га (рис.3). Отримані результати підтверджують високий потенціал цих рослин як кормової культури в умовах інтродукції. Було відмічено, що відсоток втрачання води в процесі висихання біомаси коливався від 38 (*Spodiopogon sibiricus*) до 48 % (*Pennisetum setaceum*).

Для визначення теплових характеристик сухої біомаси досліджених рослин нами проведено термогравиметричний аналіз. Виявлено, що термічна деструкція відбувається у три послідовні етапи: випаровування вологи, розкладання складових компонентів, завершення процесу розпаду лігніну та окиснення вугілля. Перший етап відзначається

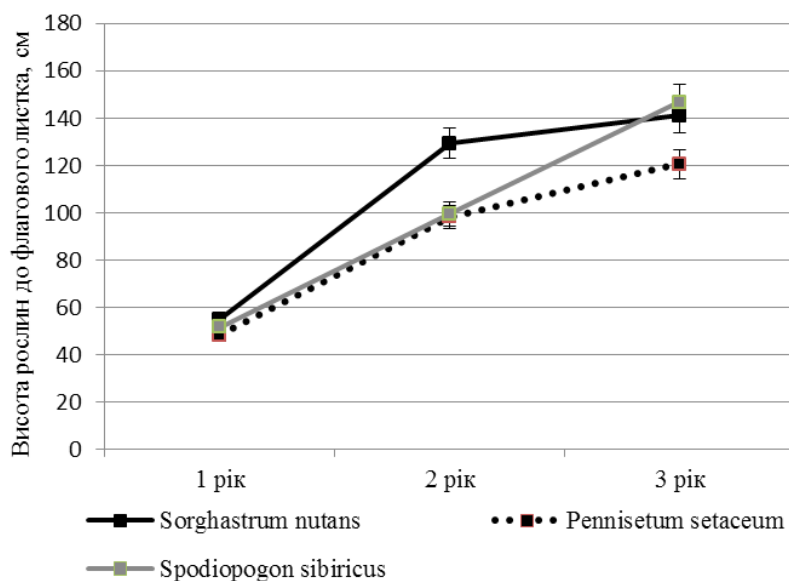


Рис. 1 Динаміка вертикального росту рослин *Sorghastrum nutans*, *Pennisetum setaceum* і *Spodiopogon sibiricus*, які інтродуковані у степову зону України.

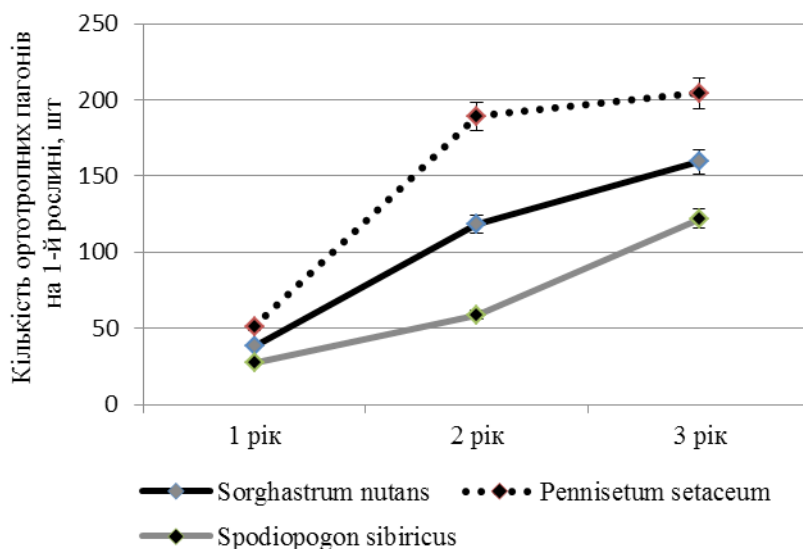


Рис. 2 Динаміка горизонтального росту рослин *Sorghastrum nutans*, *Pennisetum setaceum* і *Spodiopogon sibiricus*, які інтродуковані у степову зону України.

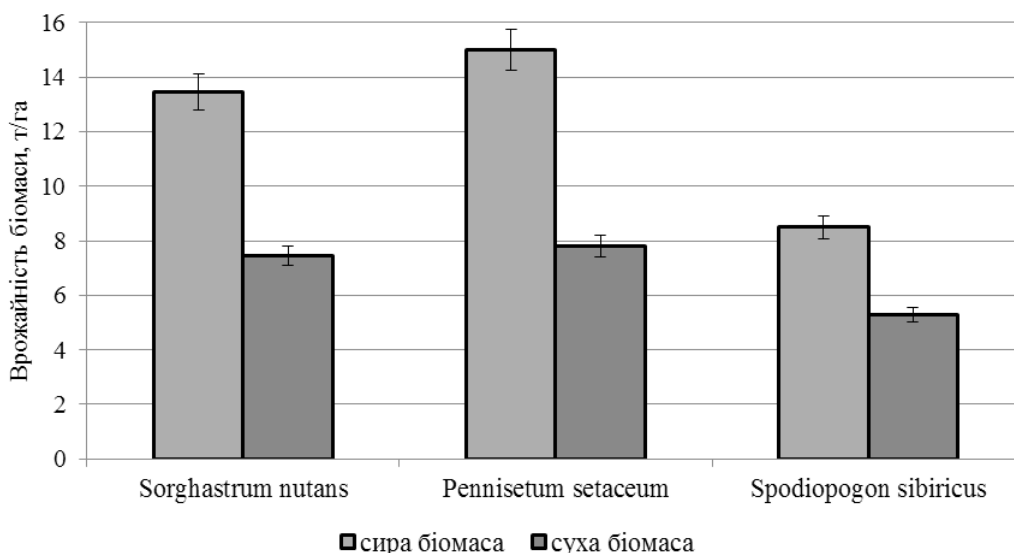


Рис. 3 Врожайність вегетативної біомаси трирічних рослин *Sorghastrum nutans*, *Pennisetum setaceum* і *Spodiopogon sibiricus*, які інтродуковано у степову зону України

1. Показники термічної деградації інтродукованих злаків рослин					
Стадія	Види рослин	Температурний інтервал розкладання, °С	T(екстр.), °С	Втрата біомаси, %	Частка залишкової біомаси, %
I	<i>Sorghastrum nutans</i>	30-160	100	6,4	
	<i>Spodiopogon sibiricus</i>	50-200	90	9,8	
	<i>Pennisetum setaceum</i>	50-200	100	8,4	
II	<i>Sorghastrum nutans</i>	170-420	310	61,2	
	<i>Spodiopogon sibiricus</i>	210-370	310	47,8	
	<i>Pennisetum setaceum</i>	210-420	310	55,6	
III	<i>Sorghastrum nutans</i>	430-560	450	23,4	9,0
	<i>Spodiopogon sibiricus</i>	380-560	390	26,8	15,6
	<i>Pennisetum setaceum</i>	430-570	450	19,6	16,4

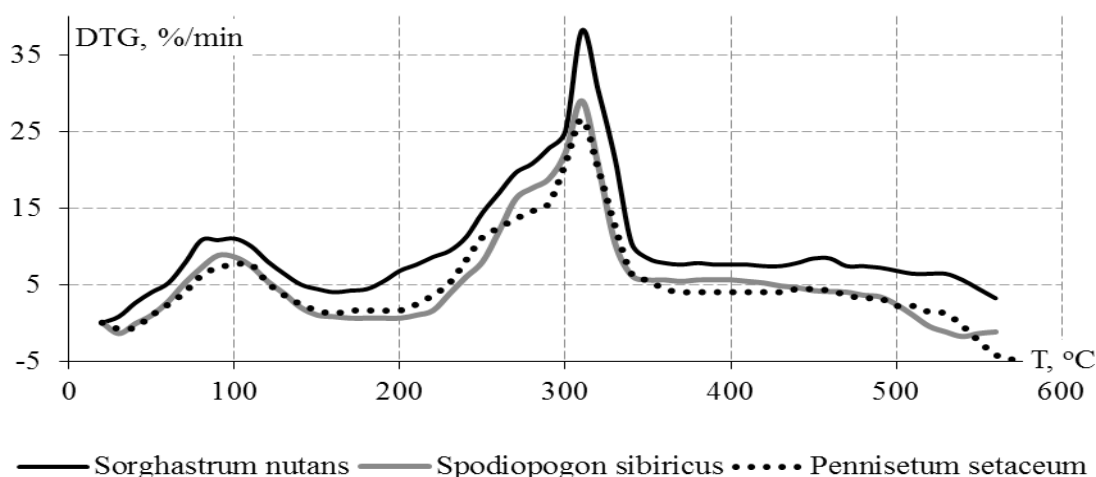


Рис. 4 Криві DTG деструкції біомаси рослин злаків, які інтродуковано у степову зону України.

ендотермічними реакціями, втрата біомаси невелика, яка становить від 6,4 до 9,8 % (табл.1).

На другому етапі термолізу розпочинаються екзотермічні процеси розпаду полімерного вуглеводного комплексу. Через значну кількість геміцелюлоз у біомасі, точки екстремуму на кривій DTG зміщуються у бік збільшення. Такі ефекти спричиняють перекриття температурних діапазонів розкладання полісахаридів,

зокрема геміцелюлози і целюлози, тому на кривих зміни маси DTG у даній області спостерігається тільки один виразний пик (рис.4). Температура точки екстремуму для усіх трьох видів рослин співпадає, але максимальна швидкість деструкції значно більша у рослин *Sorghastrum nutans*. Друга стадія також характеризується максимальним відсотком втрати біомаси (47,8-61,2 %).

Швидкість реакцій третього етапу термолізу невелика,

без явно виражених піків. Втрата біомаси складає від 20 до 27 %. Кількість незгорілого залишку у рослин *Pennisetum setaceum* та *Spodiopogon sibiricus* було значно більше (16,4 та 15,6 %), ніж у *Sorghastrum nutans* (9 %).

Енергія активації молекул характеризує термостабільність біомаси. На першому етапі деструкції даний показник знаходився в діапазоні від 51,06 (*Spodiopogon sibiricus*) до 70,7 кДж/моль (*Pennisetum setaceum*). На другому етапі енергія активації молекул була нижче і від 42,7 (*Pennisetum setaceum*) до 47,0 кДж/моль (*Spodiopogon sibiricus*). Такі зміни міжмолекулярної взаємодії обумовлені ступенем розкладання низькокалорійної геміцелюлози.

Висновки і перспективи. *Sorghastrum nutans*, *Pennisetum setaceum* і *Spodiopogon sibiricus* в умовах інтродукції проявили високий адаптивний потенціал. Починаючи з другого року життя вони активно накопичували підземну і надземну біомасу й досягали максимуму наприкінці третього року. Найвисокорослішими виявилися рослини *Spodiopogon sibiricus*. Найоптимальніші показники горизонтального росту виявлено у рослин *Pennisetum setaceum*. У рослин (*Pennisetum setaceum* і *Sorghastrum nutans*) було відзначено високу врожайність сирової вегетативної біомаси (13,5-15,0 т/га), що відкриває широкі перспективи їхнього використання як кормової культури.

Термічна деструкція сухої біомаси рослин злаків відбувається у три етапи з однією точкою екстремуму на кожній стадії. Швидкість розкладу складових компонентів вуглеводного комплексу значно більша у рослин *Sorghastrum nutans*. Значна кількість геміцелюлози в біомасі обумовлює деякі втрати у калорійності біопалива. Невеликі значення показників енергії активації свідчать щодо відносно слабких міжмолекулярних зв'язків з адсорбційними центрами невисокої термічної стабільності біомаси рослин. Тому сировину із наявних злаків доцільніше використовувати як добавку до різних видів композитного твердого палива.

Література

- Lykholat, Y., Khromykh, N., Didur, O., Alexeyeva, A., Lykholat, T., & Davydov, V. (2018). Modeling the invasiveness of *Ulmus pumila* in urban ecosystems under climate change. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 9(2), 161–166. doi: 10.15421/021824
- Lykholat Y. V., Khromikh N. O., Lykholat T.Yu., Nedzvetska M.I., Lykholat O.A., Bilyk I.V., Bobrova O.M. (2018). Promislova karakteristika plodiv predstavnikiv rodu *Berberis* L. [Industrial description of garden-stuffs of representatives of sort of *Berberis* L.] *Issues of steppe forestry and forest reclamation of soils*. Dnepr: Lyre, 47, 63-69
- Kovalenko, I. M., Klymenko, G. O., Yaroshchuk, R. A., Fedorchuk, M. I., & Lykholat, O. A. (2018). Optimization of *Ginkgo biloba* cultivation technology in open soil conditions. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 9(14), 59-64 DOI: <https://doi.org/10.15421/021880>.
- Lykholat, Y.V., Khromykh, N.O., Lykholat, T.Y., Didur, O.O., Lykholat, O.A., Legostaeva, T.V., Kabar, A.M., Sklyar, T.V., Savosko, V.M., Kovalenko, I.M., Davydov, V.R., Bielyk, Yu.V., Volyanik, K.O., Onopa, A. V., Dudkina, K.A., Grygoryuk, I.P.(2019). Industrial characteristics and consumer properties of *Chaenomeles Lindl.* *Fruits. Ukrainian Journal of Ecology*, 9(3): 132-137. <https://www.ujecology.com/articles/industrial-characteristics-and-consumer-properties-of-chaenomeles-lindl-fruits.pdf>
- Blanco-Canqoi H., Mitchell R.B., Jin V., Schmer M., Eskridge K. Perennial warm-season grasses for producing biofuel and enhancing soil properties: an alternative to corn residue removal. *GCB Bioenergy*, 9, 1510–1521. doi: 10.1111/gcbb.12436
- Tubeileh A., Rennie T., Alam-Eldein Sh. (2014). Biofuel Research in Canada: Some Results from Eastern Ontario. *International Journal of Environment and Sustainability*, 3(1), 50–53.
- Adler P.R., Sanderson M.A., Weimer P.J., Vogel K.P. (2009). Plant species composition and biofuel yields of conservation grasslands. *Ecological Applications*, 19(10), 2202–2209. <https://doi.org/10.1890/07-2094.1>
- Vogel K.P. Improving warm-season forage grasses using selection, breeding, and biotechnology. In: K.J. Moore and B. Anderson (eds.) *Native warm-season grasses: Research trends and issues*. *Crop Science Special Publication Number 30*. *Crop Society Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI*. 2000. 83-106. <https://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/2096>
- Jefferson P.G., McCaughey W.P., May K., Woosaree J., McFarlane Li. (2004). Forage quality of seeded native grasses in the fall season on the Canadian Prairie Province. *Canadian Journal of Plant Science*, 84(2), 503–509. <https://doi.org/10.4141/P03-145>
- Skeel W.A., Gibson D.J. (1996). Physiological performance of *Andropogon gerardii*, *Panicum virgatum*, and *Sorghastrum nutans* on reclaimed mine spoil. *Restoration Ecology*, 4(4), 255–367. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.1996.tb00188.x>
- Aschenbanch T.A., Brandt E., Buzzard M., Hargreaves R., Schmidt T., Zwagerman A. (2012). Initial Plant Growth in Sand Mine Spoil Amended with Peat Moss and Fertilizer Under Greenhouse Conditions: Potential Species for Use in Reclamation. *Ecological restoration*, 30(1), 50–58. doi:10.3368/er.30.1.50
- Rahlao S.J., Milton S.J., Esler K.J., Barnard P. (2010). The distribution of invasive *Pennisetum setaceum* along roadsides in western South Africa: the role of corridor interchanges. *Weed Research*, 50, 537–543. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00801.x>
- Overholt W.A., Franck A.R. (2017). The Invasive Legacy of Forage Grass Introductions into Florida. *Natural Areas J.*, 37(2), 254–264. <https://doi.org/10.3375/043.037.0214>
- Festin E.S., Tigabu M., Chileshe M.N., Syampungani S., Oden P.C. (2019). Progresses in restoration of post-mining landscape in Africa. *Journal of Forestry Research*, 30(2), 381–396. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0621-x>
- Li H., Yang Y., Li J., Li Z., Zhou J., Xu Z. (2011). Comparison of Module Characteristics of *Spodiopogon sibiricus* Populations in Different Vegetation Types. *Chinese Journal of Grassland*, 6.
- Zhu Z., Jia D. (1991). A preliminary studies on the biomass of *Spodiopogon sibiricus* community on woodland of loess plateau in North Shanxi province. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 3.
- Badmayev B.B. (2009). *Tarbagana fodder plants in the Western Zabaikaliye*. the Bulletin of KrasGAU, 7, 91–95.
- Broido A. (1969). A Simple, Sensitive Graphical Method of Treating Thermogravimetric Analysis Data. *J. Polymer of Science*, 7(3), 1761–1763.

References

- Lykholat, Y., Khromykh, N., Didur, O., Alexeyeva, A., Lykholat, T., & Davydov, V. (2018). Modeling the invasiveness of *Ulmus pumila* in urban ecosystems under climate change. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 9(2), 161–166. doi: 10.15421/021824
- Lykholat Y. V., Khromikh N. O., Lykholat T.Yu., Nedzvetska M.I., Lykholat O.A., Bilyk I.V., Bobrova O.M. (2018). Promislova karakteristika plodiv predstavnikiv rodu *Berberis* L. [Industrial description of garden-stuffs of representatives of sort of *Berberis* L.] *Issues of steppe forestry and forest reclamation of soils*. Dnepr: Lyre, 47, 63-69
- Kovalenko, I. M., Klymenko, G. O., Yaroshchuk, R. A., Fedorchuk, M. I., & Lykholat, O. A. (2018). Optimization of *Ginkgo biloba* cultivation technology in open soil conditions. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 9(14), 59-64 DOI: <https://doi.org/10.15421/021880>.
- Lykholat, Y.V., Khromykh, N.O., Lykholat, T.Y., Didur, O.O., Lykholat, O.A., Legostaeva, T.V., Kabar, A.M., Sklyar, T.V., Savosko, V.M., Kovalenko, I.M., Davydov, V.R., Bielyk, Yu.V., Volyanik, K.O., Onopa, A. V., Dudkina, K.A., Grygoryuk, I.P.(2019). Industrial characteristics and consumer properties of *Chaenomeles Lindl.* *Fruits. Ukrainian Journal of Ecology*, 9(3): 132-137. <https://www.ujecology.com/articles/industrial-characteristics-and-consumer-properties-of-chaenomeles-lindl-fruits.pdf>
- Blanco-Canqoi H., Mitchell R.B., Jin V., Schmer M., Eskridge K. (2017). Perennial warm-season grasses for producing biofuel and enhancing soil properties: an alternative to corn residue removal. *GCB Bioenergy*, 9, 1510–1521. doi: 10.1111/gcbb.12436
- Tubeileh A., Rennie T., Alam-Eldein Sh. (2014). Biofuel Research in Canada: Some Results from Eastern Ontario. *International Journal of Environment and Sustainability*, 3(1), 50–53.
- Adler P.R., Sanderson M.A., Weimer P.J., Vogel K.P. (2009). Plant species composition and biofuel yields of conservation grasslands. *Ecological Applications*, 19(10), 2202–2209. <https://doi.org/10.1890/07-2094.1>
- Vogel K.P. Improving warm-season forage grasses using selection, breeding, and biotechnology. In: K.J. Moore and B. Anderson (eds.) *Native warm-season grasses: Research trends and issues*. *Crop Science Special Publication Number 30*. *Crop Society Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI*. 2000. 83-106. <https://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/2096>
- Jefferson P.G., McCaughey W.P., May K., Woosaree J., McFarlane Li. (2004). Forage quality of seeded native grasses in the fall season on the Canadian Prairie Province. *Canadian Journal of Plant Science*, 84(2), 503–509. <https://doi.org/10.4141/P03-145>
- Skeel W.A., Gibson D.J. (1996). Physiological performance of *Andropogon gerardii*, *Panicum virgatum*, and *Sorghastrum nutans* on reclaimed mine spoil. *Restoration Ecology*, 4(4), 255–367. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.1996.tb00188.x>
- Aschenbanch T.A., Brandt E., Buzzard M., Hargreaves R., Schmidt T., Zwagerman A. (2012). Initial Plant Growth in Sand Mine Spoil Amended with Peat Moss and Fertilizer Under Greenhouse Conditions: Potential Species for Use in Reclamation. *Ecological restoration*, 30(1), 50–58. doi:10.3368/er.30.1.50
- Rahlao S.J., Milton S.J., Esler K.J., Barnard P. (2010). The distribution of invasive *Pennisetum setaceum* along roadsides in western South Africa: the role of corridor interchanges. *Weed Research*, 50, 537–543. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00801.x>
- Overholt W.A., Franck A.R. (2017). The Invasive Legacy of Forage Grass Introductions into Florida. *Natural Areas J.*, 37(2), 254–264. <https://doi.org/10.3375/043.037.0214>
- Festin E.S., Tigabu M., Chileshe M.N., Syampungani S., Oden P.C. (2019). Progresses in restoration of post-mining landscape in Africa. *Journal of Forestry Research*, 30(2), 381–396. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0621-x>
- Li H., Yang Y., Li J., Li Z., Zhou J., Xu Z. (2011). Comparison of Module Characteristics of *Spodiopogon sibiricus* Populations in Different Vegetation Types. *Chinese Journal of Grassland*, 6.
- Zhu Z., Jia D. (1991). A preliminary studies on the biomass of *Spodiopogon sibiricus* community on woodland of loess plateau in North Shanxi province. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 3.
- Badmayev B.B. (2009). *Tarbagana fodder plants in the Western Zabaikaliye*. the Bulletin of KrasGAU, 7, 91–95.
- Broido A. (1969). A Simple, Sensitive Graphical Method of Treating Thermogravimetric Analysis Data. *J. Polymer of Science*, 7(3), 1761–1763.